

การผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์แบบต่อเนื่องด้วย *Penicillium* sp. H12  
โดยใช้แอร์ลิปทรีแอกเตออร์



นายกิติภัทร ลิ้มประเสริฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาจุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ภาควิชาจุลชีววิทยา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-1858-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONTINUOUS FRUCTOOLIGOSACCHARIDE PRODUCTION BY *Penicillium* sp. H12  
USING AIRLIFT REACTOR

Mr. Kitiphath Limprasit



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science program in Industrial Microbiology

Department of Microbiology

Faculty of Science

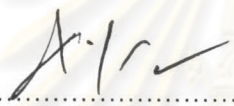
Chulalongkorn University

Academic Year 2005

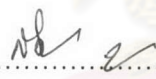
ISBN 974-14-1858-2

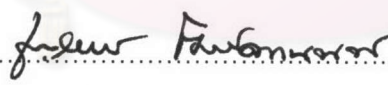
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์แบบต่อเนื่องด้วย *Penicillium* sp.H12  
โดยใช้แอร์ลิฟท์รีแอคเตอร์  
โดย นายกิติภัทร ลิ่มประเสริฐ  
สาขาวิชา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ ไชษิตานนท์

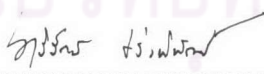
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

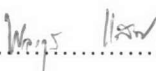
 รองคณบดีฝ่ายบริหารรักษาราชการแทน  
..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิจิตรสานต์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ประธานกรรมการ  
.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สงศรี กุลปรีชา)

 อาจารย์ที่ปรึกษา  
.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ ไชษิตานนท์)

 กรรมการ  
.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์)

 กรรมการ  
.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พลกฤษณ์ แสงวงษ์)

กิตติภทร ลิ้มประเสริฐ : การผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์แบบต่อเนื่องด้วย *Penicillium* sp. H12 โดยใช้แอร์ลิฟท์รีแอกเตอร์ (CONTINUOUS FRUCTOOLIGOSACCHARIDE PRODUCTION BY *Penicillium* sp. H12 USING AIRLIFT REACTOR)

อ.ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์, 82 หน้า. ISBN: 974-14-1858-2

การผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์จาก *Penicillium* sp. H12 ในแอร์ลิฟท์รีแอกเตอร์ ในอาหารสำหรับผลิตปริมาณ 500 มิลลิลิตร เมื่อให้น้ำตาลเริ่มต้น 250 กรัมต่อลิตร ใช้หัวเชื้อเริ่มต้นที่เจริญอายุ 18 ชั่วโมงปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยมีอัตราการให้อากาศ 1 vvm. และควบคุมค่าความเป็นกรด ต่าง เริ่มต้นเป็น 5.0 เมื่อทำการผลิตเป็นเวลา 60 ชั่วโมง พบว่า *Penicillium* sp. H12 สามารถผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ได้สูงสุด 194.04 กรัมต่อลิตรในชั่วโมงที่ 6 การเปลี่ยนปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นจาก 50 เปอร์เซ็นต์ เป็น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และเปลี่ยนอัตราการให้อากาศจาก 1 vvm. เป็น 0.2 vvm. พบว่าปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์สูงสุดที่ผลิตได้เปลี่ยนแปลงไปอย่างไม่มีนัยสำคัญและการใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สามารถผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ได้ในปริมาณใกล้เคียงกับการใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร นอกจากนั้นการเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสเริ่มต้นจาก 250 กรัมต่อลิตร เป็น 300 กรัมต่อลิตร สามารถเพิ่มปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดที่ผลิตได้จาก 193.30 เป็น 244.24 กรัมต่อลิตร อีกด้วย เมื่อศึกษาการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์โดยใช้วิธีผลิตแบบต่อเนื่องโดยใช้น้ำตาลซูโครสเริ่มต้น 300 กรัมต่อลิตร ใช้หัวเชื้อเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อัตราการให้อากาศ 0.2 vvm. และควบคุมความเป็นกรดต่าง ที่ 5.0 โดยทำการเติมน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 300 กรัมต่อลิตร ร่วมกับธาตุอาหารด้วยอัตราการเติม 50 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อย่างต่อเนื่องพบว่าสามารถผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมได้ด้วยอัตราการผลิตเฉลี่ย 154.09 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง เป็นเวลาอย่างน้อย 7 วัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....จุลชีววิทยา.....ลายมือชื่อนิสิต.....กิตติภทร ลิ้มประเสริฐ.....

สาขาวิชา.....จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม.....ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา.....*Charu Khamnong*.....

ปีการศึกษา 2548.....

# # 4672210023 : MAJOR INDUSTRIAL MICROBIOLOGY

KEY WORD: Fructooligosaccharide/  $\beta$ -fructofuranosidase / FOS Production

KITIPHAT LIMPRASIRT : CONTINUOUS FRUCTOOLIGOSACCHARIDE

PRODUCTION BY *Penicillium* sp. H12 USING AIRLIFT REACTOR

THESIS ADVISOR: ASST. PROF. CHARNWIT KOSITTANONT, Ph.D. 82 pp.

ISBN: 974-14-1858-2

Fructooligosaccharide (FOS) production from sucrose using *Penicillium* sp. H12 was carried out in 0.5 lit airlift reactor with 250 g/l initial sucrose. The conditions were controlled at pH 5, 30°C, 1 vvm. aeration, with 50 % ( v/v ) inoculum sized. Free cell *Penicillium* sp. H12 produced highest total FOS 194.04 g/l at 6<sup>th</sup> hour. Decreasing inoculum size from 50 to 10% ( v/v ) and aeration rate from 1 to 0.2 vvm. were not significant changing in the total FOS production. At 40 % ( v/v ) inoculum, FOS production was the same as 50 %. The highest FOS production of 244.24 g/l was obtained at initial sucrose of 300 g/l and 40 % ( v/v ) inoculum. Continuous FOS production was studied by using 300 g/l initial sucrose and 40 % ( v/v ) inoculum with 0.2 vvm. aeration rate. Continuous feeding with 30 % sucrose medium at the rate of 50 ml/h resulted in 154.09 g/l/h production rate for at least 7 days.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department..... Microbiology..... Student's signature..... K. Limprasirt.....  
Field of study..... Industrial Microbiology..... Advisor's signature..... C. Kositanont.....  
Academic year... 2005.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนตรวจแก้ไขต้นฉบับวิทยานิพนธ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

กราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาจุลชีววิทยาที่กรุณาให้ความรู้ และคำแนะนำต่างๆ แก่ผู้วิจัย

ขอบคุณภาควิชาจุลชีววิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เป็นที่ศึกษาเรียนรู้และเป็นที่ร่วมกิจกรรมต่าง ๆ กับเพื่อน ๆ , พี่ ๆ และน้อง ๆ ทุกคนตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาจุลชีววิทยาทุกท่าน ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่มีส่วนในการช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลือ ตลอดจนให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญรูป .....	ญ
คำย่อ .....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ .....	1
วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	4
ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	4
2. วารสารปริทัศน์.....	5
ปฏิบัติการการเกิดฟรักโตโอสิโกแซ็กคาไรด์จากน้ำตาลซูโครส.....	6
สมบัติของเอนไซม์ฟรักโตฟูรานโนซิเดส.....	8
แหล่งของเอนไซม์ฟรักโตฟูรานโนซิเดส.....	11
การศึกษาการผลิตฟรักโตโอสิโกแซ็กคาไรด์.....	14
3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง.....	18
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	18
3.2 เคมีภัณฑ์.....	19
3.3 แอร์ลิฟท์รีแอกเตอร์.....	20
3.4 จุลินทรีย์.....	20
3.5 การเตรียมหัวเชื้อสำหรับผลิตฟรักโตโอสิโกแซ็กคาไรด์.....	20
3.6 การผลิตฟรักโตโอสิโกแซ็กคาไรด์โดยใช้แอร์ลิฟท์รีแอกเตอร์.....	21
3.7 การศึกษาผลของอัตราการให้อากาศและหัวเชื้อเริ่มต้นต่อการผลิตฟรักโต โอสิโกแซ็กคาไรด์โดยใช้แอร์ลิฟท์รีแอกเตอร์ที่สร้างขึ้น.....	21
3.8 การหาปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการผลิตฟรักโตโอสิโก แซ็กคาไรด์.....	21





3.9 การผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์แบบต่อเนื่อง.....	22
3.10 การวิเคราะห์ปริมาณของกลูโคสโดยชุดตรวจกลูโคส.....	22
3.11 การวิเคราะห์หาปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์โดยใช้วิธีโครมาโต กราฟพีชนิดของเหลวสมรรถนะสูง ( HPLC ).....	22
3.12 การหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านโดยปริมาตรของออกซิเจน.....	23
3.13 การหาปริมาณน้ำตาลฟรักโตส.....	23
4. ผลการทดลอง .....	24
4.1 การประดิษฐ์แอร์ลิฟท์รีแอกเตอร์สำหรับผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์.....	24
4.2 การผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์โดยใช้แอร์ลิฟท์รีแอกเตอร์ที่สร้างขึ้น.....	27
4.3 การผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ในแอร์ลิฟท์รีแอกเตอร์ที่สร้างขึ้นโดยใช้ วิธีการผลิตแบบต่อเนื่อง.....	39
4.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านโดยปริมาตรของออกซิเจน ( $K_La$ ) ของ แอร์ลิฟท์รีแอกเตอร์ที่สร้างขึ้น.....	46
5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง .....	49
รายการอ้างอิง .....	55
ภาคผนวก .....	60
ภาคผนวก ก .....	61
ภาคผนวก ข .....	63
ภาคผนวก ค .....	65
ภาคผนวก ง .....	77
ภาคผนวก จ .....	79
ภาคผนวก ฉ .....	81
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	82

## สารบัญญัตราสาร

ตารางที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ของน้ำตาลเคสโตสที่เกิดขึ้นกับความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสเริ่มต้นที่เวลา 24 ชั่วโมง อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส pH 5.0 .....	10
2.2	ผลของน้ำตาลกลูโคสต่อเอนไซม์ฟรักโตฟูรานโนซิเดสเมื่อเติมน้ำตาลกลูโคสหรือฟรักโตสลงไป.....	10
2.3	ชนิดของพืชที่สร้างเอนไซม์ฟรักโตฟูรานโนซิเดสได้.....	11
2.4	ชนิดของจุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์ฟรักโตฟูรานโนซิเดสได้.....	12
4.1	ลักษณะทางกายภาพภายนอกของส่วนประกอบที่นำมาสร้างเป็นแอร์ลิฟตรีแอคเตอร์หลังจากที่ทำการหนึ่งที่อุณหภูมิ 100, 110 และ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที...	26
4.2	เปรียบเทียบปริมาณของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดที่ผลิตได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของหัวเชื้อเริ่มต้น.....	37
4.3	อัตราการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดต่าง ๆ ขณะที่ทำการผลิตแบบต่อเนื่องโดยใช้แอร์ลิฟตรีแอคเตอร์ที่สร้างขึ้นเมื่อใช้วิธีการผลิตที่ต่างกัน.....	44
4.4	ปริมาณของไอโอดีนในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ใช้ในการไตเตรทหาปริมาณของไซเดียมซัลไฟท์ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในแอร์ลิฟตรีแอคเตอร์เมื่อใช้อัตราการให้อากาศ 0.2 vvm. และ 1 vvm.....	46
5.1	ปริมาณของน้ำตาลซูโครสเริ่มต้นที่แท้จริงเมื่อทำการรวมน้ำตาลทั้งหมดในแอร์ลิฟตรีแอคเตอร์แล้วหักออกด้วยน้ำตาลที่มาจากหัวเชื้อเริ่มต้น.....	49
5.2	เปรียบเทียบอัตราการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์กับการทดลองอื่นเมื่อทำการผลิตแบบต่อเนื่อง.....	54
5.3	เปรียบเทียบปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตได้สูงสุดจากถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีใบกวนและแอร์ลิฟตรีแอคเตอร์.....	54

## สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ในลำไส้โดยฟรีไบโอดีทิกจะส่งเสริมการเจริญของ ฟรีไบโอดีทิก.....	2
2.1 โครงสร้างของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ .....	6
2.2 สมการการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์โดย Singh และ Bhatia ( 1971 ).....	7
2.3 สมการการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์โดย Jung และคณะ ( 1989 ) .....	7
2.4 แบบจำลองของเอนไซม์ฟรักโตฟูรานโนซิเดสในการสร้างฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์.....	9
2.5 รูปแบบการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์โดย <i>Aspergillus japonicus</i> .....	13
2.6 แสดงรูปของถึงปฏิกรณ์ชีวภาพชนิดมีใบกวนและแอร์ลิปที่รีแอกเตอร์.....	16
4.1 โครงสร้างและขนาดของส่วนประกอบต่าง ๆ ของถึงปฏิกรณ์ที่สร้างขึ้น.....	25
4.2 แสดงลักษณะของฟองอากาศที่ออกมาจากท่อให้อากาศก่อนต่อฟองด้วยหัวทรายและ หลังต่อฟองด้วยหัวทราย.....	27
4.3 รูปแบบการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์และปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิด ต่าง ๆ ที่ผลิตได้สูงสุดเมื่อทำการผลิตโดย <i>Penicillium</i> sp. H12.....	28
4.4 ปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์สูงสุดที่ผลิตได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณหัวเชื้อ เริ่มต้นและอัตราการให้อากาศ.....	31
4.5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดที่ผลิตได้เมื่อใช้อัตราการ ให้อากาศ 0.2 vvm. และ 1 vvm.....	33
4.6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดที่ผลิตได้เมื่อใช้ปริมาณหัว เชื้อเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร.....	33
4.7 เปรียบเทียบปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมที่ผลิตได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ เมื่อทำ การเปลี่ยนแปลงปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้นและอัตราการให้อากาศ.....	34
4.8 เปรียบเทียบปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมที่ผลิตได้ในช่วงเวลาต่างๆ เมื่อมีการ เปลี่ยนแปลงหัวเชื้อเริ่มต้น.....	36
4.9 เปรียบเทียบปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมที่ผลิตได้ในช่วงเวลาต่างๆ เมื่อใช้ น้ำตาลซูโครสเริ่มต้น 200, 250 และ 300 กรัมต่อลิตร.....	38

รูปที่	หน้า
4.10	รูปแบบการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์และปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ เมื่อทำการผลิตโดย <i>Penicillium</i> sp. H12 ในการผลิตแบบต่อเนื่องโดยไม่มีการป้องกันเซลล์ของเชื้อราหลุดออกมากับผลผลิต ..... 40
4.11	รูปแบบการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์และปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ เมื่อทำการผลิตโดย <i>Penicillium</i> sp. H12 ในการผลิตแบบต่อเนื่องเมื่อมีการป้องกันเซลล์ของเชื้อราหลุดออกมากับผลผลิต..... 41
4.12	รูปแบบการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์และปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในการผลิตแบบต่อเนื่องโดยมีการเติมแร่ธาตุที่จำเป็นต่อ <i>Penicillium</i> sp. H12 ร่วมกับน้ำตาลซูโครสในระหว่างการผลิตและมีการป้องกันเซลล์ของเชื้อราหลุดออกมากับผลผลิต..... 43
4.13	รูปแบบการผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์และปริมาณฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตได้ในช่วงเวลาต่าง ๆ เมื่อทำการผลิตโดย <i>Penicillium</i> sp. H12 ในการผลิตแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 7 วัน..... 45
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอโอดีนที่ใช้ในการไตรเตรทหาปริมาณของไซเดียมซัลไฟท์ในแอร์ลิปทรีแอกเตอรืเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น..... 47
5.1	ฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมที่ผลิตได้เมื่อใช้ปริมาณหัวเชื้อ <i>Penicillium</i> sp. H12 เริ่มต้น 10, 30, 40, และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และใช้อัตราการให้อากาศ 0.2 vvm..... 51
5.2	แนวโน้มของฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์รวมที่ผลิตได้เมื่อน้ำตาลซูโครสเริ่มต้น 200, 250 และ 300 กรัมต่อลิตร..... 52

## คำย่อ

$^{\circ}\text{C}$	=	องศาเซลเซียส
%	=	เปอร์เซ็นต์
cm.	=	เซนติเมตร
FOS	=	ฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์
g/l	=	กรัมต่อลิตร
g/l/h	=	กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง
HPLC	=	High performance liquid chromatography (โครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง)
$K_L a$	=	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านโดยปริมาตรของ ออกซิเจน
l/min	=	ลิตรต่อนาที
v/v	=	ปริมาตรต่อปริมาตร
vvm.	=	ค่าการให้อากาศโดยคิดเป็นปริมาตรอากาศที่ให้ ต่อปริมาตรรีแอกเตอร์ต่อนาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย